

# 风电标杆上网电价对环境改善的空间 溢出效应

万 威 左绿吟\*

**摘 要:**基于风电标杆上网电价政策显著推高上网电价的背景,本文研究了该政策对环境影响的空间特征及其形成机制。研究发现,高风能资源区风电装机容量增幅更大,但其环境改善幅度却小于邻近的低风能资源区。这主要源于高风能资源区经济规模较小,为了促进风电消纳,向邻近低风能资源区输送了更多电能,并通过挤压煤电改善了后者的环境。本文的分析表明,风电标杆上网电价对环境的改善存在由高风能资源区向邻近低风能资源区传导的空间溢出效应。

**关键词:**风电标杆上网电价;环境改善;空间特征

**DOI:** 10.13821/j.cnki.ceq.2026.02.07

## 一、引 言

推动新能源电力发展,进而带动电力行业低碳化转型,已成为中国实现“双碳”目标的关键路径(丁仲礼,2022;林伯强,2022;张俊杰,2022)。通过行政手段提高上网电价<sup>①</sup>是支持风电发展的重要政策安排。2009年7月国家发展和改革委员会发布了《关于完善风力发电上网电价政策的通知》,分四类资源区分别制定了风电标杆上网电价<sup>②</sup>,并取消了风电特许权招标电价政策<sup>③</sup>。风电标杆上网电价远高于此前的特许权招标电价(王敏等,2018;Auffhammer et al., 2021)<sup>④</sup>,

\* 万威,华中师范大学经济与工商管理学院;左绿吟,中国人民大学农业与农村发展学院。通信作者及地址:左绿吟,北京市海淀区中关村大街59号,100872;电话:18827277350;E-mail:zly200109@ruc.edu.cn。本研究得到国家自然科学基金重大项目(24&ZD104)和国家自然科学基金面上项目(72073049)的资助。感谢匿名审稿专家和编辑部的宝贵建议,当然文责自负。

① 上网电价是发电企业向电网企业、售电公司等购电方出售电能的结算价格。

② 标杆上网电价是国家按地区、按电源规定的统一上网电价。

③ 风电特许权招标电价亦属于上网电价。

④ 2009年之前,我国共开展了五期风电特许权招标,具体信息如附表A1所示。以项目装机容量占比加权平均计算,特许权招标电价均值为0.4764元/千瓦时。而2009年四类资源区风电标杆上网电价分别为0.51元/千瓦时、0.54元/千瓦时、0.58元/千瓦时和0.61元/千瓦时,均高于0.4764元/千瓦时。若以风电标杆上网电价替代对应资源区的特许权招标电价,按同样权重计算,电价为0.5478元/千瓦时,较0.4764元/千瓦时高出约15%。限于篇幅,附录未在正文列示,感兴趣的读者可在《经济学》(季刊)官网(<https://ceq.ccer.pku.edu.cn>)下载。

并通过明确电价水平,为发电企业提供了稳定的利润预期。正是在这一政策的刺激下,中国风电装机规模实现了跨越式发展(王敏等,2018;宋枫,2019; Auffhammer et al., 2021)。截至2025年年底,中国风电累计装机容量已接近全球的一半。

由于中国各地区风能资源差异较大,风电标杆上网电价对风电发展的促进作用可能呈现特定的空间特征。已有研究表明,风电标杆上网电价对风能资源丰富地区风电发展的促进作用更大(赵彦云和李倩,2021)。那么该政策对环境的影响是否也呈现类似的空间特征?事实上,风电标杆上网电价对各地区环境的影响,既取决于当地风电的发展,也取决于当地的电力消纳能力。我国各地区电力消纳能力存在显著差异,风能资源丰富地区往往消纳能力较弱。因此,风电装机规模较大的地区,未必是环境改善幅度更大的地区。鉴于此,识别风电标杆上网电价对环境影响的空间特征,对于全面理解我国风电消纳现状,并据此制定配套政策促进风电在更大空间范围消纳具有重要的现实意义。

本文分析了风电标杆上网电价对环境影响的空间特征及其形成机制。根据各地风能资源状况,本文将全国各城市划分为高风能资源区(以下简称高资源区)和低风能资源区(以下简称低资源区)。为避免其他区域政策的影响,本文首先将样本限定在高资源区及其相邻的低资源区(以下简称邻近低资源区)省份。研究发现,风电标杆上网电价对高资源区风电装机容量的促进作用更大,但高资源区环境改善幅度却小于邻近低资源区。这主要是由于高资源区经济规模和电力消纳能力较小,为了促进风电消纳,高资源区向邻近低资源区输送了更多的电能,并通过挤压煤电改善了后者的环境。这说明风电标杆上网电价对环境的改善存在由高资源区向邻近低资源区传导的空间溢出效应。

本文将样本扩展至全国展开进一步分析,得到了两个主要发现。一是风电标杆上网电价对邻近低资源区的环境改善幅度也显著大于其他低资源区。这主要是因为电能输送的空间范围受到实际电网调度的物理约束,导致风电主要以“省内十区域电网内部”<sup>①</sup>消纳为主。首先,我国电力系统以省级调度为主,跨省交易需要通过政府间协议协调完成,只有当一个省份出现电力缺口时才大规模外购电力(Auffhammer et al., 2021)。其次,跨区域输电损耗大且通常需要借助特高压,往往面临高昂成本,因此省际输电网络主要集中于同一区域电网内部。因此,风电标杆上网电价对环境的改善作用主要体现在邻近低资源区。

二是2014年以后省际贸易壁垒减弱,促进了风电在更大空间范围的消纳。省际贸易壁垒是制约新能源电力消纳的重要制度性障碍(宋枫,2019)。为探讨这一问题,本文将邻近低资源区按是否与高资源区同属一省进行区分。研究发

<sup>①</sup> 我国共有华北电网、东北电网、华东电网、华中电网、西北电网和南方电网等6大区域电网。

现,风电标杆上网电价对与高资源区同省的邻近低资源区的环境改善幅度更大,而对非同省邻近低资源区环境的影响在2014年以后才显著。同时,本文发现在2014年以后高资源区省份向邻近低资源区省份输送了更多的电能。这些结果表明,2014年以后省际贸易壁垒减弱,促进了风电在更大空间范围的消纳。这可能源于两方面原因:一是2013年年底官员考核制度调整,导致地方保护主义减弱。二是弃风问题加剧<sup>①</sup>,导致高资源区更积极地寻求与周边省份签订售电协议。

本文具有以下三个方面的贡献。一是采用准自然实验的方法分析了风电上网电价补贴<sup>②</sup>对环境影响的因果效应及其潜在机制。现有文献对新能源电价补贴如何影响环境有较多讨论,但这些文献主要基于总量数据和使用可计算一般均衡模型进行分析(魏巍贤和赵玉荣,2017;姜洪殿等,2022;张宁等,2023),鲜有文献基于准自然实验的方法分析新能源电价补贴对环境的影响。中国风电标杆上网电价大幅度提高了风电上网电价补贴<sup>③</sup>,本文基于该政策建立的准自然实验,能较好地识别风电上网电价补贴对环境影响的因果效应和潜在机制。

二是分析了风电标杆上网电价对环境影响的空間特征。中国风电标杆上网电价使风电装机容量呈现明显的空间特征(赵彦云和李倩,2021),但该政策对环境影响的空間特征尚不清楚。现有文献在探讨政策对环境影响的空間特征时,主要关注环境规制所导致的企业生产活动的空間调整。一部分文献分析了环境规制对企业选址的影响,发现环境规制使企业从环境规制严格的地区迁移到环境规制宽松的地区(Chen et al., 2018;徐志伟和刘晨诗,2020;潘郭钦等,2023)。另一部分文献发现企业集团会将部分生产经营活动从环境规制严格的地区转移到环境规制宽松的地区,或从受监管企业转移到不受监管的关联企业(宋德勇等,2021;Chen et al., 2025)。本文分析了风电标杆上网电价对环境影响的空間特征,是对这类文献的有益补充。

三是分析了风电价格规制改革对环境的影响。现有研究电价规制改革对环境影响的文献主要关注环保电价规制改革<sup>④</sup>和电价市场化改革对环境的影响,而对于新能源电价规制改革如何影响环境则鲜有文献探究。现有文献发现环保电价规制改革有利于改善环境(Hu et al., 2012;石光等,2016;Lin et al., 2021; Zhang et al., 2021; Zhao, 2023),而电价市场化改革对环境的影响则有不確定性(Holland and Mansur, 2008; Lin et al., 2019)。本文分析了风电价

① 弃风是指风电场无法全额并网发电而被迫限制出力的现象。

② 风电上网电价补贴为风电上网电价高出当地脱硫燃煤机组标杆上网电价的部分。

③ 给定脱硫燃煤机组标杆上网电价,风电上网电价越高,风电上网电价补贴也就越高。

④ 环保电价规制改革主要包括脱硫、脱硝、除粉尘和超低排放的电价支持政策,以及行业差别电价和居民阶梯电价的电价政策。

格规制改革对环境的影响,有利于更全面地理解电价规制改革的环境效应。

## 二、政策背景

在实行风电标杆上网电价之前,我国风电项目上网电价主要采取特许权招标定价<sup>①</sup>。考虑到日益严峻的污染排放形势以及我国在哥本哈根世界气候大会上的承诺,国家发展和改革委员会(以下简称国家发改委)于2009年7月发布《关于完善风力发电上网电价政策的通知》,出台了风电标杆上网电价政策,取消了风电特许权招标电价政策。风电按照陆上风电和海上风电分别制定标杆上网电价。但海上风电占比很小,截止到2023年年底,海上风电项目装机容量约占风电总装机容量的8%,且主要集中在沿海的少数几个省份。因此,本文仅考虑陆上风电标杆上网电价。

为了推动风电发展,我国最初制定的标杆上网电价水平远高于此前的特许权招标电价(王敏等,2018)。风电标杆上网电价建立以后,经历了逐步下调的过程。这可能主要有两个方面的原因:一是风力发电项目的技术水平不断进步,使发电成本逐步下降,如不及时下调补贴水平,将刺激过度装机,弃风问题将会加剧<sup>②</sup>;二是随着风电装机容量的扩大,如不降低风电标杆上网电价,补贴便难以为继。

### (一) 陆上风电标杆上网电价的建立与调整

国家发改委发布的《关于完善风力发电上网电价政策的通知》,根据风能资源状况的不同,将全国划分为四类风能资源区,分别制定陆上风电标杆上网电价。<sup>③</sup>其中Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类资源区分别包括12、9和34个地级及以上城市,前3类资源区总共包括55个地级及以上城市。除Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类资源区以外的其他地区均属于Ⅳ类资源区。可见,我国绝大部分地区均属于Ⅳ类资源区。Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类资源区风能资源较为丰富,不妨称为高资源区。其余地区即Ⅳ类资源区称为低资源区。

附图A1展示了四类风能资源区陆上风电标杆上网电价随时间的变化情况。根据附图A1,2009—2020年陆上风电标杆上网电价共经历了5次下调。相比于低资源区,高资源区陆上风电标杆上网电价更低,且随着时间的推移下降幅度更大。2019年5月,国家发改委发布了《关于完善风电上网电价政策的

① 规模较小的风电项目主要采取审批定价。

② 实际上,由于补贴下调不及时,我国三北地区(西北、华北及东北)出现了较为严重的弃风问题。

③ 四类资源区名单详见国家发改委办公厅于2009年7月27日公布的《全国风力发电标杆上网电价表》:<https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/200907/W020190905518647886580.pdf>,访问时间:2025年12月11日。

通知》，指出从2021年1月1日起，新核准的陆上风电项目全面实现平价上网<sup>①</sup>，国家不再补贴。

## （二）风电标杆上网电价对新增发电装机容量的影响

### 1. 全国风电新增装机容量的变化

图1直观地展示了风电标杆上网电价建立前后风电新增装机容量的变化。该数据来源于《电力工业统计资料汇编》，为2006—2022年省级风电新增装机容量数据。根据图1，风电新增发电装机容量在2009年及以后有明显的增加<sup>②</sup>，这直观地表明了风电标杆上网电价促进了风电项目的投资。此外，图1显示风电新增装机容量在2020年有大幅增加。这可能是因为2019年5月国家发改委发布的《关于完善风电上网电价政策的通知》导致的抢装。该文件指出，“2018年底之前核准的陆上风电项目，2020年底前仍未完成并网的，国家不再补贴”。

需要指出的是，虽然风电标杆上网电价随时间逐渐下降，但是风电项目的建设成本下降更多(王敏等,2018)。根据王敏等(2018)，从2009年第一季度到2016年第三季度，全球陆上风电的平准化电力成本(Levelized Cost of Electricity)<sup>③</sup>平均下降了50%。这意味着在给定上网电量的情况下，企业的利润是增加的，这将鼓励企业建设更多的风电项目。

### 2. 不同资源区风电新增装机容量的变化

图1也直观地展示了风电标杆上网电价建立前后风电新增装机容量在高资源区和低资源区的变化。由于只能获得省级新增装机容量的数据，图1将有高资源区城市的省份整体视为高资源区。具体来讲，高资源区包括内蒙古、甘肃、新疆、宁夏、河北、吉林、黑龙江等7个省<sup>④</sup>。

根据图1，在风电标杆上网电价建立之初，全国大部分风电新增装机容量都集中在高资源区。这与在风电标杆上网电价建立之后，高资源区出现了较为严重的弃风现象一致(王敏等,2018;宋枫,2019;Auffhammer et al., 2021)<sup>⑤</sup>。为了缓解弃风问题，2016年7月，国家能源局发布《关于建立监测预警机制促进风

① 平价上网是指上网电价与当地脱硫燃煤机组标杆上网电价持平。

② 需要指出的是，虽然风电项目包括陆上风电项目和海上风电项目，但海上风电项目占比很小。因此，陆上风电项目的变动趋势应与图1类似。

③ 平准化电力成本是用于衡量电能单位成本的经济指标，其计算方式为将电力项目在生命周期内发生的总成本现值除以总发电量现值。

④ 这些省份中仅河北、吉林和黑龙江既存在高资源区城市也存在低资源区城市，其余省份均只有高资源区城市。

⑤ 根据《2015年度全国可再生能源电力发展监测评价报告》，甘肃、新疆、吉林、黑龙江、内蒙古、宁夏、河北、辽宁、云南、山西的弃风率分别为39%、32%、32%、21%、18%、13%、10%、10%、3%、2%。这意味着所有高资源区的弃风率均超过了10%，而低资源区除了辽宁为10%外，其他地区弃风率均较低。

电产业持续健康发展的通知》，限制了弃风严重地区风电项目的开发与并网。这些限制性政策的出台以及高资源区标杆上网电价更大幅度的下降，使得在2016年及以后低资源区的风电新增装机容量超过了高资源区。

综上，风电标杆上网电价促进了风电装机容量的增加，且对高资源区风电发展的促进作用更大<sup>①</sup>。

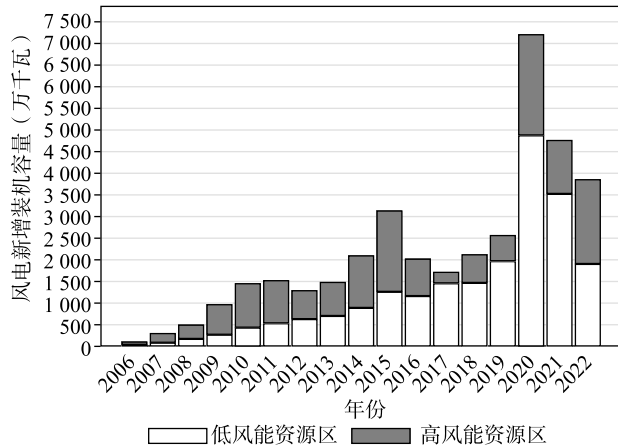


图1 我国风电新增装机容量变化

### 3. 不同资源区风电发展差异的原因

根据图1，风电标杆上网电价对高资源区风电发展的促进作用更大。实际上，两类资源区在风电发展条件上各有利弊：高资源区风能资源更为丰富，但低资源区的标杆上网电价更高。那么，为何是前者主导了风电发展？由于各地区单位装机成本差异较小，本文借鉴王敏等(2018)的公式，计算单位装机收益，对该问题进行讨论。具体公式如下：

$$\text{单位装机收益} = \text{发电小时数} \times \text{上网电价} \quad (1)$$

《电力工业统计资料汇编》收录了2006—2012年装机容量在6000千瓦及以上的风电厂数据<sup>②</sup>，包括装机容量、利用小时数和发电量等指标，其中利用小时数和发电量仅有2008—2012年的数据。基于公式(1)，结合2008—2012年利用小时数和2009年四类风能资源区陆上风电标杆上网电价数据<sup>③</sup>，本文测算

<sup>①</sup> 虽然2016年及以后低资源区的风电新增装机容量超过了高资源区，但考虑到在相当长的时间高资源区新增装机容量更高且其只有7个省，因此风电标杆上网电价对高资源区风电发展的促进作用应更大。

<sup>②</sup> 根据《电力工业统计资料汇编(2012)》，2012年装机容量在6000千瓦及以上风电厂的总装机容量为6141万千瓦，而全国风电厂总装机容量为6142万千瓦。因此，6000千瓦及以上风电厂的总装机容量几乎等同于全部风电厂的装机容量。

<sup>③</sup> 风电标杆上网电价从2009年开始实施，第一次调整是在2015年，因此在2009—2012年风电标杆上网电价保持不变。同时，为了便于比较，本文也基于2009年的风电标杆上网电价计算了2008年的单位装机收益。

了各风电厂单位装机收益。

附图 A2 至附图 A6 分别展示了 2008—2012 年高资源区和低资源区风电厂装机规模与单位装机收益的关系。<sup>①</sup> 根据附图 A2 至附图 A6, 可以发现两点: 一是大规模风电厂主要集中在高资源区, 且 2009 年以后这一特点变得更加明显。二是随着风电厂规模的增加, 高资源区的单位装机收益平均而言并无明显下降, 而低资源区的单位装机收益大概在装机容量超过 15 万千瓦时出现了明显的下降。<sup>②</sup> 这一点在 2012 年风电厂数量较多的情况下尤为明显。<sup>③</sup>

这些结果表明风电厂在高资源区和低资源区的规模经济差异, 可能是风电标杆上网电价导致两类资源区风电发展呈现差异的主要原因。受资源约束, 低资源区扩大风电厂规模, 将导致单位装机收益出现明显下降。而高资源区由于风能和土地资源更为丰富, 扩大风电厂规模没有使单位装机收益出现明显下降。

另外一个证据是, 根据附图 A2 至附图 A6, 高资源区风电开发存在明显的“5 万千瓦”现象, 即在接近 5 万千瓦、10 万千瓦、15 万千瓦、20 万千瓦、25 万千瓦、30 万千瓦等 5 万千瓦倍数装机容量时风电厂数量存在集聚。2004 年 7 月国务院发布的《政府核准的投资项目目录(2004 年本)》指出, “风电站: 总装机容量 5 万千瓦及以上项目由国务院投资主管部门核准, 其余项目由地方政府投资主管部门核准。”<sup>④</sup> 为了便于投资项目通过核准, 企业倾向于将特定风电厂按接近 5 万千瓦分批建设, 从而导致“5 万千瓦”现象。而低资源区则不存在“5 万千瓦”现象。这进一步表明低资源区风电厂面临明显的规模不经济性, 而高资源区风电厂的规模不经济性不明显。

上述分析表明, 由资源禀赋差异导致的规模经济性差异是高低资源区风电装机容量不同的主要原因。图 2 对此做了进一步探讨。根据图 2(a), 高资源区与低资源区风电厂在平均装机规模上差距较大, 且这一差距在 2009 年风电标杆上网电价建立后有明显的扩大。根据图 2(b), 高资源区与低资源区在风电厂数量上的差异较小。这进一步表明规模经济性差异是高低资源区风电装机容量不同的主要原因。

---

① 附图 A7 至附图 A11 展示了 2008—2012 年高资源区和低资源区风电厂装机规模与利用小时数之间的关系。

② 这里只是展示平均意义上的结论, 实际上不同风电厂的规模经济性应是不同的。下文高低资源区“5 万千瓦”现象的差异, 进一步表明高低资源区风电厂的规模经济性存在明显不同。

③ 附图 A12 至附图 A16 删除了极少数装机容量在 50 万千瓦及以上的风电厂后, 这一判断仍成立。

④ 国家发改委 2005 年 7 月发布的《关于风电建设管理有关要求的通知》指出, “总装机容量 5 万千瓦及以上风电项目由我委核准, 其余项目由各省(区、市)发展改革委核准。”因此, 这里的投资主管部门实际上是国家和省级发改委。

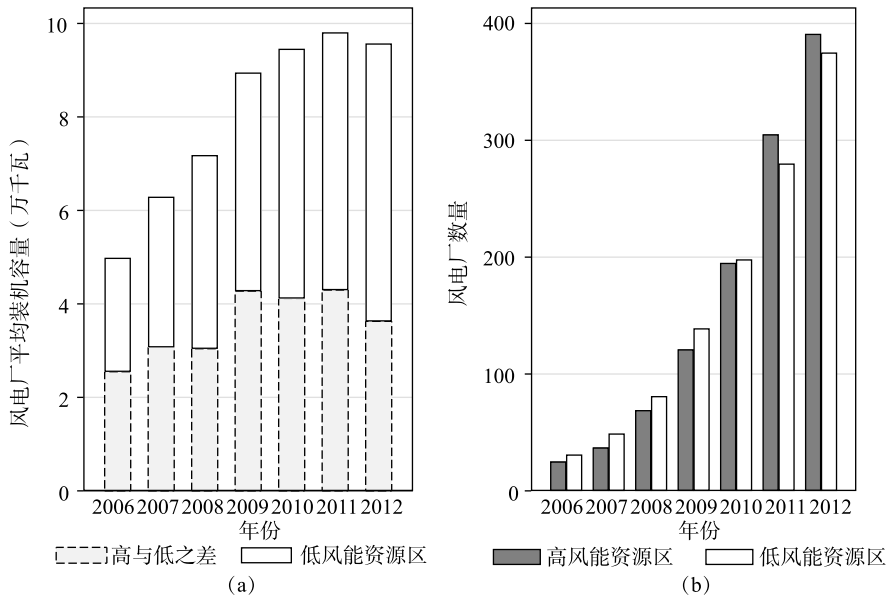


图 2 风电厂的平均装机容量与数量变化

注:高资源区风电厂的平均装机容量等于高与低之差加上低资源区风电厂的平均装机容量。

### 三、研究设计与数据介绍

#### (一) 研究设计

本文使用倍差法分析了风电标杆上网电价对环境影响的空间特征及其形成机制。为了避免其他区域政策对本文结论的影响,我们将样本限定在有高资源区的省份及其相邻省份。此时,样本中的低资源区是与高资源区邻近的区域,为了表述方便,后文用邻近低资源区指代此类地区。考虑到《中华人民共和国可再生能源法》于 2006 年 1 月 1 日开始实施,同时为了避免新冠疫情的影响,本文将样本期限定在 2006—2019 年。

#### 1. 基准回归方程

$$\ln SO_{2ct} = \alpha Lwind_c \times post09_t + \gamma' Z_{ct} + \delta_c + \mu_t + \epsilon_{ct}, \quad (2)$$

其中,  $\ln SO_{2ct}$  表示城市  $c$  在  $t$  年的工业二氧化硫排放量对数。 $Lwind_c$  表示城市  $c$  是否属于邻近低资源区,是则取值为 1,否则为 0。 $post09_t$  表示时间是否是在 2009 年以后,是则取值为 1,否则为 0,但考虑到风电标杆上网电价从 2009 年 8 月 1 日起实行,因此  $post09_t$  在 2009 年取值为 5/12<sup>①</sup>。此时,  $\alpha$  反映了风电标杆上网电价对邻近低资源区和高资源区  $SO_2$  排放量影响的相对差异。需要指出的是,该政策具有全国普适性,论文的识别依赖于不同地区资源禀赋与补贴强度差异所

① 该政策于 2009 年 8 月 1 日起实行,因此在实施当年仅实行了 5 个月,占全部 12 个月的 5/12。

形成的交互效应。 $Z_{ct}$ 是其他控制变量,具体在后文实证结果表格中展示。 $\delta_c$ 是城市固定效应, $\mu_t$ 是年份固定效应, $\varepsilon_{ct}$ 是随机扰动项。标准误在城市层面聚类。

## 2. 事前趋势检验

通过事前趋势检验,一方面可以检验本文的结论是否受其他事前因素影响,另一方面可以分析风电标杆上网电价对环境影响的动态趋势。回归方程如下:

$$\ln SO_{2ct} = \sum_{\tau=2007}^{2019} \alpha_{\tau} Lwind_c \times yr_{\tau} + \gamma' Z_{ct} + \delta_c + \mu_t + \varepsilon_{ct}, \quad (3)$$

其中, $yr_{\tau}$ 是年份虚拟变量, $\tau$ 代表相应的年份。本文选取样本第一期即2006年作为基期。其余变量含义和标准误的处理同基准回归方程。

## (二) 数据介绍

本文使用的城市工业二氧化硫排放量( $SO_2$ )、城市生产总值( $gdp$ )、城市第二产业增加值( $gdp2$ )、城市规模以上工业总产值( $gdpi$ )、市辖区全社会用电量( $SEC$ )、市辖区工业企业用电量( $IEC$ )均来源于《中国城市统计年鉴》。省际输送电量( $ET$ )、城市风电装机容量( $WIC$ )、城市煤电装机容量( $CIC$ )、城市煤电发电量( $CPG$ )均来源于《电力工业统计资料汇编》。各城市平均风速数据来自国家气象科学数据中心。城市全社会用电量( $TEC$ )基于卫星数据构建,来源于Chen et al.(2022)。

## (三) 描述性统计

主要变量的描述性统计结果详见附录I。其中,表I1区分高资源区与邻近低资源区对主要变量进行了描述性统计和组间均值差异检验,图I1直观地展示了风电标杆上网电价建立前后高资源区与邻近低资源区 $SO_2$ 排放量的变化情况。本文主要使用2006—2019年的数据进行分析,但囿于数据可得性,不同变量样本期存在差异,表I1对此进行了注明。其中,城市生产总值( $gdp$ )和城市第二产业增加值( $gdp2$ )缺失2017年数据。城市规模以上工业总产值( $gdpi$ )、市辖区全社会用电量( $SEC$ )和市辖区工业企业用电量( $IEC$ )缺失2016年以后的数据。城市风电装机容量( $WIC$ )、城市煤电装机容量( $CIC$ )和城市煤电发电量( $CPG$ )均根据《电力工业统计资料汇编》中装机容量在6000千瓦及以上电厂数据在城市层面加总得到<sup>①</sup>,缺失2012年以后的数据。

表I1的一阶差分结果表明,高资源区风电装机容量显著高于邻近低资源区,而经济规模和电力消费量均显著小于邻近低资源区。这反映了我国风能资源与电力需求之间存在空间错配:高资源区的风能资源丰富且装机容量较大,

<sup>①</sup> 根据《电力工业统计资料汇编(2012)》的数据,可以判断本文提供的电厂级数据具有相当大的代表性。2012年装机容量在6000千瓦及以上火电厂的总装机容量为81426万千瓦,而全国火电厂总装机容量为81968万千瓦。2012年装机容量在6000千瓦及以上火电厂的总发电量为39160亿千瓦时,而全国火电厂总发电量为39255亿千瓦时。

但经济规模较小,对电力的消纳能力较低。图 I 1 直观地表明了风电标杆上网电价对邻近低资源区的环境改善作用大于高资源区,后文将使用计量方法进行更严谨的分析。

#### 四、风电标杆上网电价对环境影响的 空间特征

##### (一) 基准回归

表 1 分析了风电标杆上网电价对不同风能资源区环境影响的差异。第(1)列未控制任何固定效应。根据第(1)列,风电标杆上网电价使邻近低资源区的  $\text{SO}_2$  排放量相对于高资源区显著减少了约 37.08%<sup>①</sup>。即使没有建立风电标杆上网电价,风能资源禀赋不同的地区风电的发展可能也会有所不同。为控制资源差异,第(2)列加入了 2008 年城市平均风速与年份固定效应的交互项。此时,核心解释变量  $Lwind \times post09$  的系数变化很小,且仍显著为负。第(3)列在第(2)列的基础上控制了城市和年份固定效应,核心解释变量  $Lwind \times post09$  的系数有小幅变化,仍显著为负。考虑到高风能资源区与高太阳能资源区存在部分重叠<sup>②</sup>,第(4)列控制了是否高太阳能资源区与年份固定效应的交互项,以允许高低太阳能资源区的  $\text{SO}_2$  排放量具有不同的时间趋势。此时,核心解释变量  $Lwind \times post09$  的系数绝对值有所减小,但仍显著为负。因此,风电标杆上网电价使邻近低资源区的环境改善幅度显著大于高资源区。

表 1 风电标杆上网电价对环境影响的 空间特征

	lnSO <sub>2</sub>			
	(1)	(2)	(3)	(4)
$Lwind \times post09$	-0.4633*** (0.1325)	-0.4586*** (0.1280)	-0.4057*** (0.1237)	-0.3612*** (0.1375)
$Lwind$	0.5456** (0.2398)	0.6787*** (0.2417)		
$post09$	-0.2916** (0.1198)	-0.3790* (0.1951)		
Adj.R <sup>2</sup>	0.0586	0.3095	0.8610	0.8661
N	1 965	1 965	1 964	1 964
样本层级	城市	城市	城市	城市
样本期	2006—2019	2006—2019	2006—2019	2006—2019
资源差异	否	是	是	是
资源区重叠	否	否	否	是

①  $(e^{-0.4633} - 1) \times 100\% \approx -37.08\%$ 。

② 附录 II 详细介绍了高太阳能资源区与低太阳能资源区的划分。

(续表)

	lnSO <sub>2</sub>			
	(1)	(2)	(3)	(4)
年份固定效应	否	否	是	是
城市固定效应	否	否	是	是

注：括号内为在城市层面聚类的稳健标准误。\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 水平上显著。

## (二) 事前趋势检验

根据图 3, 风电标杆上网电价使邻近低资源区的 SO<sub>2</sub> 排放量相对于高资源区在 2011 年出现了更大幅度的下降, 而在 2009 年之前交互项的系数均不显著且接近于 0。这意味着, 表 1 中的结论不大可能是风电标杆上网电价建立之前其他因素作用的结果。根据图 1, 风电的装机容量在 2009 年和 2010 年均有较大幅度增长。风电标杆上网电价对环境的影响却从 2011 年开始, 这可能与电网建设的滞后有关 (Luo et al., 2016)<sup>①</sup>。2010 年 3 月, 国家能源局发布《关于加强风电开发与电网接入和运行管理协调工作的通知》, 指出我国风电发展面临着电网接入的制约, 要求“东北电网、西北电网要制订全网统筹消纳风电的方案, 华北电网要提出增加蒙西电网输电量的方案”, 以提高电网容纳风电的能力。该政策有利于促进风电开发与电网的协调, 从而促进风电消纳和环境改善。

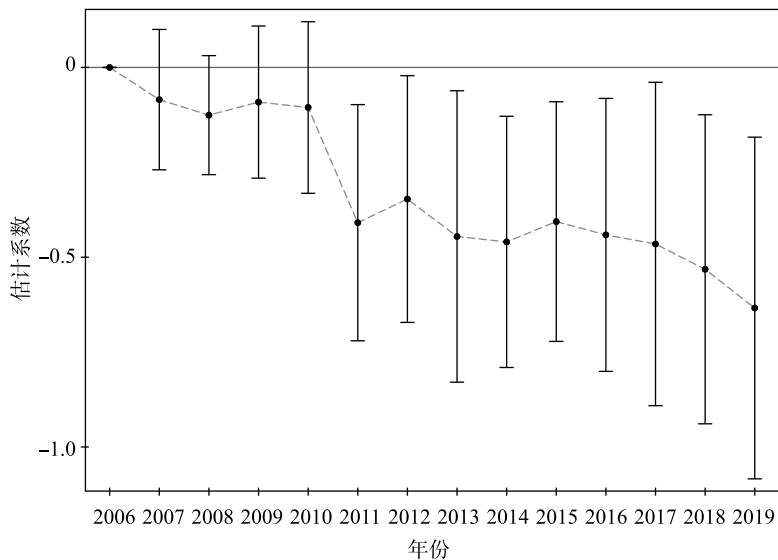


图 3 事前趋势检验

注：依据公式(3)的回归结果绘制。纵轴表示回归系数，竖线表示 95% 置信区间，标准误在城市层面聚类。

<sup>①</sup> 根据后文的分析, 风电标杆上网电价使高资源区向邻近的低资源区通过电网输送了更多的电能, 从而改善了后者的环境。

### (三) 稳健性检验

本文最担心的是其他区域政策对本文结论的影响。附表 A2 第(1)—(4)列分别控制了城市是否为低碳试点、是否为排污权交易试点、是否为碳排放权交易试点、是否有中央环保督察组入驻等区域政策变量。这四列核心解释变量的回归系数均显著为负,且与基准回归相比变化较小。为了进一步避免其他区域政策对本文结论的影响,第(5)列将样本限定在既有高资源区又有低资源区的省份,即河北、吉林和黑龙江。限定之后样本量大幅度下降, $Lwind \times post09$  系数接近显著为负。第(6)列将样本限定在高资源区与低资源区交界两侧的城市, $Lwind \times post09$  系数显著为负,且与基准回归结果接近。第(1)—(6)列表明,排除其他区域政策影响后,本文的结论依然成立。

附表 A2 第(7)列在基准回归的基础上考虑了人口密度、土地租金、经济发展水平和产业结构等城市经济特征的影响。具体地,第(7)列加入了 2008 年人口密度、2008 年每平方公里产值、2008 年人均 GDP 对数和 2008 年第二产业产值占比等变量与年份固定效应的交互项,以允许这些特征不同的城市的  $SO_2$  排放量具有不同的时间趋势。在第(7)列中, $Lwind \times post09$  的系数绝对值与基准回归相比有所下降,但仍然显著为负。

## 五、空间特征成因分析

风电标杆上网电价对环境影响的空间特征成因存在两种可能性:一是邻近低资源区风电标杆上网电价较高且电力消纳能力更强,因此,风电标杆上网电价对邻近低资源区风电发展的促进作用更大;二是高资源区风能资源更为丰富,风电标杆上网电价对高资源区风电发展的促进作用更大,但使高资源区向邻近低资源区输送了更多的电能。表 2 对此进行了讨论。

表 2 的第(1)列使用 2006—2012 年的城市级面板数据,分析了风电标杆上网电价对风电装机容量的影响。<sup>①</sup> 研究发现,风电标杆上网电价对邻近低资源区装机容量的促进作用显著小于高资源区,这与图 1 的结论一致。表 2 的第(2)列使用 2006—2019 年的省际电力交易数据进行分析。如果电力输出省份为高资源区省份且电力输入省份为与其相邻的低资源区省份,则  $Hwind\_to\_Lwind$  取值为 1,否则为 0。<sup>②</sup> 根据第(2)列,风电标杆上网电价使高资源区省份向邻近低资源区省份输送了更多的电能。

① 由于城市级风电装机容量存在大量 0 值,因此未作取对数处理。

② 这里删除了既有高资源区城市又有低资源区城市的省份,即删除了河北、吉林和黑龙江。

经济规模,尤其是工业规模,决定了对电力的消纳能力。表2的第(3)—(4)列使用城市级面板数据,分析了不同资源区城市GDP和第二产业增加值的差异。结果表明,高资源区( $Hwind=1$ )城市的GDP和第二产业增加值分别比邻近低资源区低56.68%和61.43%<sup>①</sup>,即高资源区的电力消纳能力远低于邻近低资源区。这意味着当风电规模较大时,高资源区无法在本地消纳这些电能,需要借助邻近低资源区的消纳能力。

表2 空间特征成因

	<i>WIC</i>	<i>ET</i>	$\ln gdp$	$\ln gdp2$
	(1)	(2)	(3)	(4)
$Lwind \times post09$	-33.5887** (13.9114)			
$Hwind\_to\_Lwind \times post09$		24.7010** (11.9823)		
<i>Hwind</i>			-0.8365*** (0.1511)	-0.9526*** (0.1676)
Adj.R <sup>2</sup>	0.5837	0.6489	0.2926	0.2744
N	1 011	10 976	1 832	1 828
样本层级	城市	省际输送对	城市	城市
样本期	2006—2012	2006—2019	2006—2019	2006—2019
资源差异	是	否	否	否
资源区重叠	是	否	否	否
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	否	否	否
省际输送对固定效应	否	是	否	否

注:由于城市风电装机容量(*WIC*)和省际输送电量(*ET*)存在大量0值,因此均未作取对数处理。 $\ln gdp$ 和 $\ln gdp2$ 缺失2017年数据。第(1)、(3)—(4)列括号内为在城市层面聚类的稳健标准误,第(2)列括号内为在省际电力输送对层面聚类的稳健标准误。\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%水平上显著。

图4动态分析了风电标杆上网电价对跨省电力输送的影响。研究发现,高资源区省份从2011年开始向邻近低资源区省份输送了更多的电能。这与图3风电标杆上网电价使邻近低资源区的SO<sub>2</sub>排放量相对于高资源区在2011年出现显著下降一致。同时,本文也发现从2014年开始,高资源区省份向邻近低资源区省份输送的电能有了更大幅度的增加。这可能与电力交易的省际贸易壁垒减弱有关,后面将对此作进一步讨论。

①  $(e^{-0.8365} - 1) \times 100\% \approx -56.68\%$ ,  $(e^{-0.9526} - 1) \times 100\% \approx -61.43\%$ 。

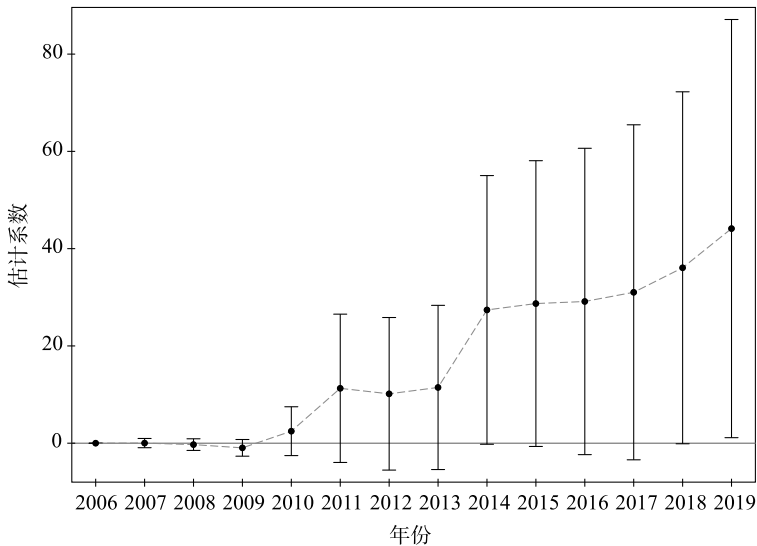


图4 风电标杆上网电价对跨省电力输送的动态影响

注:纵轴表示回归系数,竖线表示95%置信区间,标准误在省际电力输送对层面聚类。

综上,风电标杆上网电价对高资源区风电装机容量的促进作用更大;但高资源区经济规模较小,电力消纳能力有限,因而向邻近低资源区输送了更多电量,进而改善了后者的环境。这说明风电标杆上网电价对环境的改善存在由高资源区向邻近低资源区传导的空间溢出效应。

## 六、风电消纳如何影响环境?

风电消纳可能通过三种机制改善环境:一是降低工业产值。如果消纳间歇性新能源电力导致用电成本上涨,那么风电消纳将可能通过降低工业产值改善环境。二是促进电能替代。风电的发展增加了电力供给,这可能降低用电成本,促进电能对化石能源的替代,进而改善环境。三是挤压煤电。如果在风电发展的同时,社会用电需求没有相应增加,那么为了消纳新增的风电,就不可避免地需要挤压煤电。表3对这三种机制分别进行了检验。

表3的第(1)—(2)列分别分析了风电消纳对城市第二产业增加值和规模以上工业总产值的影响。研究发现,风电消纳对第二产业增加值和规模以上工业总产值均没有显著影响。这表明风电消纳没有通过降低工业产值改善环境。第(3)—(5)列分别分析了风电消纳对城市全社会用电量、市辖区全社会用电量、市辖区工业用电量的影响。研究发现,风电消纳对各类用电量均没有显著影响。在工业产值未降低的情况下,如果风电消纳通过电能替代改善环境,城市用电量应该增加。所以第(3)—(5)列的结果表明,风电消纳没有通过电能替

代改善环境。

第(6)一(7)列分析了风电消纳对城市煤电发电量和装机容量的影响。核心解释变量系数显著为负,表明风电消纳通过挤压煤电改善了环境。附图 A17 进一步分析了风电消纳对煤电的动态影响。研究发现,回归系数在 2011 年有明显的下降。这与图 3 风电标杆上网电价从 2011 年开始对邻近低资源区环境改善幅度更大一致。这进一步表明了风电消纳通过挤压煤电改善了环境。

综上,风电消纳主要通过挤压煤电,而非通过减少工业产值和电能替代改善环境。这可能是因为在本文样本期内,销售电价受到政府管制<sup>①</sup>,使风电发展对电价的影响难以传导至终端用户。

表 3 风电消纳如何影响环境

	$\ln gdp2$	$\ln gdp1$	$\ln TEC$	$\ln SEC$	$\ln IEC$	$\ln CPG$	$\ln CIC$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
$Lwind \times post09$	-0.0770 (0.0642)	-0.0891 (0.0790)	-0.0053 (0.0151)	-0.0730 (0.1368)	-0.0587 (0.1607)	-0.7278*** (0.2468)	-0.5294** (0.2313)
Adj.R <sup>2</sup>	0.9643	0.9606	0.9987	0.9405	0.9130	0.7957	0.8042
N	1 826	1 583	1 950	1 091	1 091	882	881
样本层级	城市	城市	城市	城市	城市	城市	城市
样本期	2006—2019	2006—2016	2006—2019	2006—2016	2006—2016	2006—2012	2006—2012
资源差异	是	是	是	是	是	是	是
资源区重叠	是	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是	是

注: $\ln gdp2$  缺失 2017 年数据。括号内为在城市层面聚类的稳健标准误。\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 水平上显著。

## 七、对空间特征的进一步讨论

表 4 进一步分析了风电标杆上网电价对环境影响的空间特征。表 4 在前文的基础上做了两方面拓展:一是将样本扩展到全国;二是将邻近低资源区分成与高资源区同省的低资源区和非同省的低资源区。前者虽然会使本文的结

<sup>①</sup> 电力行业包含发电、输电、配电和售电四个主要环节,与之相对应,依次形成上网电价、输电电价、配电电价与销售电价。终端用户主要受销售电价的影响。在本文样本期内,工商业用户主要执行政府核定的目录分时电价;居民生活用电以阶梯电价为主,部分地区辅以目录分时电价;农业生产用电实行政府核定的优惠电价。这些价格均受到政府的严格管制。

论更容易受其他区域政策的影响,但有利于更全面地了解风电标杆上网电价对环境影响的空间特征。后者则有利于对省际贸易壁垒进行讨论。

表4的第(1)–(2)列将风能资源区分为三类,高资源区、邻近低资源区和其他低资源区,并以其他低资源区作为基准。 $Hwind$ 表示当所在地区为高资源区时取值为1,否则为0。表4的第(1)列分析了风电标杆上网电价对不同风能资源区风电装机容量影响的差异。根据第(1)列, $Hwind \times post09$ 的系数显著为正, $Lwind \times post09$ 的系数不显著。这表明风电标杆上网电价对高资源区风电装机容量的促进作用大于其他低资源区,而对邻近低资源区风电装机容量的促进作用与其他低资源区相比并无显著差异。

表4的第(2)列分析了风电标杆上网电价对不同风能资源区环境影响的差异。研究发现,风电标杆上网电价对高资源区环境的影响与其他低资源区相比并无显著差异,而对邻近低资源区环境的改善幅度显著大于其他低资源区。由于风电标杆上网电价对邻近低资源区的环境改善主要来源于高资源区的电能输送,考虑到电力输送损耗随距离增加和特高压建设的高昂成本,高资源区向距离较远的低资源区输送电能更困难<sup>①</sup>。因此,风电标杆上网电价对环境的改善作用主要体现在邻近低资源区。

表4的第(3)列在前两列的基础上将邻近低资源区分成与高资源区同省的低资源区( $Lwind\_S=1$ )和非同省的低资源区( $Lwind\_D=1$ )。研究发现,风电标杆上网电价对同省低资源区环境改善幅度更大。<sup>②</sup>这既可能是因为输电距离不同,也可能是因为省际电力交易存在壁垒(宋枫,2019; Auffhammer et al., 2021)。

表4的第(4)列在第(3)列的基础上将时间变量进一步细分为是否2009–2010年( $yr0910$ )、是否2011–2013年( $yr1113$ )和是否2014年以后( $post14$ )。研究发现,风电标杆上网电价对同省低资源区环境的影响在2014年以前就显著为负了,而对非同省的影响在2014年以后才显著为负。结合图4可知,高资源区省份从2014年开始向邻近低资源区省份输送了更多的电能。这表明2014年省际贸易壁垒开始出现减弱,从而使更大空间范围的环境得到了改善。之所以如此,一方面可能是因为2013年12月中共中央组织部下发《关于改进地方党政领导班子和领导干部政绩考核工作的通知》,指出不能仅仅把地区生产总值及其增长率作为考核评价政绩的主要指标,要求在官员考核中加大环保指标的权重,从而缓解了地方保护主义(周黎安,2004);另一方面可能是因为弃风问

① 根据《电力工业统计资料汇编(2019)》、《2019年度全国可再生能源电力发展监测评价报告》和中国新能源网的数据,2019年由特高压输送的风电和光伏发电占全部特高压线输送电量比例约为12.7%,其占全部跨省电力输送电量的比例约为4%。因此,在本文的样本期内风电很难通过特高压输送到非相邻省份。

② 附录III表III1表明,风电标杆上网电价对这两类区域环境的影响与风电装机容量无关。

题逐渐严重,导致高资源区更积极地寻求与周边省份签订售电协议,从而推动跨省电力输送。

表4 对空间特征的进一步讨论

	WIC	lnSO <sub>2</sub>	lnSO <sub>2</sub>	lnSO <sub>2</sub>
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Hwind</i> × <i>post09</i>	39.5913*** (14.1053)	-0.0201 (0.1686)	-0.0419 (0.1694)	-0.0394 (0.1649)
<i>Lwind</i> × <i>post09</i>	1.2138 (1.5519)	-0.2539*** (0.0873)		
<i>Lwind_S</i> × <i>post09</i>			-0.3710** (0.1445)	
<i>Lwind_D</i> × <i>post09</i>			-0.2346*** (0.0876)	
<i>Lwind_S</i> × <i>yr0910</i>				-0.1084* (0.0621)
<i>Lwind_S</i> × <i>yr1113</i>				-0.2925* (0.1639)
<i>Lwind_S</i> × <i>post14</i>				-0.4471*** (0.1505)
<i>Lwind_D</i> × <i>yr0910</i>				-0.0362 (0.0439)
<i>Lwind_D</i> × <i>yr1113</i>				-0.1134 (0.0848)
<i>Lwind_D</i> × <i>post14</i>				-0.3215*** (0.1005)
Adj. R <sup>2</sup>	0.5924	0.8547	0.8548	0.8561
N	1950	3806	3806	3806
样本层级	城市	城市	城市	城市
样本期	2006—2012	2006—2019	2006—2019	2006—2019
资源差异	是	是	是	是
资源区重叠	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是

注:括号内为在城市层面聚类的稳健标准误。\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%水平上显著。

## 八、政策启示

本文的研究对于实现“双碳”目标具有重要的政策启示:第一,在促进风电消纳方面,本文的分析表明高资源区消纳能力较弱,加快特高压输电网络建设和构建全国统一的电力市场体系,将有助于高资源区风电在更大空间范围的消纳。第二,在推进电能替代方面,本文的分析表明风电消纳主要通过挤压煤电而非电能替代改善环境。这说明风电消纳促进了电力系统减排,但尚未促进终端用能部门的电气化。终端用能部门的电气化进程依赖电价制度的改革。从短期来看,应加快推动分时电价改革,降低间歇性新能源大发时期的电价,充分发挥分时电价的信号作用;从长期来讲,则应着力推进电力现货市场建设,充分发挥风电边际成本低和短期预测精度较高的特点。第三,在支持间歇性新能源电力未来发展方面,风电已经进入平价上网阶段,但政策支持仍有必要。一方面,风电成本仍具下降潜力,政策应继续支持相关技术研发;另一方面,由于风电具有波动性和间歇性,政策应更加关注对储能技术的支持。

## 参考文献

- [1] Auffhammer, M., M. Wang, L. Xie, and J. Xu, “Renewable Electricity Development in China: Policies, Performance, and Challenges”, *Review of Environmental Economics and Policy*, 2021, 15(2), 323-339.
- [2] Chen, Q., Z. Chen, Z. Liu, J. C. S. Serrato, D. Y. Xu, “Regulating Conglomerates: Evidence from an Energy Conservation Program in China”, *American Economic Review*, 2025, 115(2), 408-447.
- [3] Chen, J., M. Gao, S. Cheng, W. Hou, M. Song, X. Liu, and Y. Liu, “Global 1 km $\times$ km Gridded Revised Real Gross Domestic Product and Electricity Consumption During 1992-2019 Based on Calibrated Nighttime Light Data”, *Scientific Data*, 2022, 9(202).
- [4] Chen, Z., M. E. Kahn, Y. Liu, and Z. Wang, “The Consequences of Spatially Differentiated Water Pollution Regulation in China”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018, 88, 468-485.
- [5] 丁仲礼,“深入理解碳中和的基本逻辑和技术需求”,《时事报告(党委中心组学习)》,2022年第4期,第23—40页。
- [6] Holland, S. P., and E.T. Mansur, “Is Real-Time Pricing Green? The Environmental Impacts of Electricity Demand Variance”, *The Review of Economics and Statistics*, 2008, 90(3), 550-561.
- [7] Hu, J., F. Kahrl, Q. Yan, and X. Wang, “The Impact of China’s Differential Electricity Pricing Policy on Power Sector CO<sub>2</sub> Emissions”, *Energy Policy*, 2012, 45, 412-419.
- [8] 姜洪殿、杨倩如、董康银,“中国电力行业低碳转型政策的经济-能源-环境影响”,《中国人口·资源与环境》,2022年第6期,第30—40页。
- [9] 林伯强,“碳中和进程中的中国经济高质量增长”,《经济研究》,2022年第1期,第56—71页。

- [10] Lin, C., S. Shao, W. Sun, and H. Yin, "Can the Electricity Price Subsidy Policy Curb NO<sub>x</sub> Emissions from China's Coal-Fired Power Industry? A Difference-In-Differences Approach", *Journal of Environmental Management*, 2021, 290, 112367.
- [11] Lin, J., F. Kahrl, J. Yuan, Q. Chen, and X. Liu, "Economic and Carbon Emission Impacts of Electricity Market Transition in China: A Case Study of Guangdong Province", *Applied Energy*, 2019, 238, 1093-1107.
- [12] Luo, G. L., Y. L. Li, W. J. Tang, and X. Wei, "Wind Curtailment of China's Wind Power Operation: Evolution, Causes and Solutions", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 53, 1190-1201.
- [13] 潘郭钦、包群、黄睿, "随风而动: 环境监管规避与企业选址调整", 《经济学》(季刊), 2023 年第 3 期, 第 913—928 页。
- [14] 石光、周黎安、郑世林、张友国, "环境补贴与污染治理——基于电力行业的实证研究", 《经济学》(季刊), 2016 年第 4 期, 第 1439—1462 页。
- [15] 宋德勇、朱文博、王班班、丁海, "企业集团内部是否存在‘污染避难所’?", 《中国工业经济》, 2021 年第 10 期, 第 156—174 页。
- [16] 宋枫, 《新能源消纳问题研究》。北京: 科学出版社, 2019 年。
- [17] 王敏、徐晋涛、黄滢、谢伦裕, 《中国风电和光伏发电补贴政策研究》。北京: 中国社会科学出版社, 2018 年。
- [18] 魏巍贤、赵玉荣, "可再生能源电价补贴的大气环境效益分析", 《中国人口·资源与环境》, 2017 年第 10 期, 第 209—216 页。
- [19] 徐志伟、刘晨诗, "环境规制的‘灰边’效应", 《财贸经济》, 2020 年第 1 期, 第 145—160 页。
- [20] 张俊杰, "双碳目标实现任重道远, 企业如何应对低碳转型带来的挑战?", 绿色金融 60 人论坛, 2022 年 1 月 12 日, [https://mp.weixin.qq.com/s/otffjEA0K\\_3t28IY48qnJQ](https://mp.weixin.qq.com/s/otffjEA0K_3t28IY48qnJQ), 访问时间: 2025 年 12 月 11 日。
- [21] 张宁、庞军、王琦瑶、陈晖, "基于 CGE 模型的可再生能源绿证交易机制模拟及其经济影响", 《中国人口·资源与环境》, 2023 年第 2 期, 第 51—62 页。
- [22] Zhang, Z., W. Yang, and J. Ye, "Why Sulfur Dioxide Emissions Decline Significantly from Coal-Fired Power Plants in China? Evidence from the Desulfurated Electricity Pricing Premium Program", *Energy Policy*, 2021, 148, 111996.
- [23] Zhao, L., "The Impact of China's Differential Electricity Pricing Policy on Fossil Fuel Consumption", *International Studies of Economics*, 2023, 18(1), 97-119.
- [24] 赵彦云、李倩, "风电上网电价政策地区差异及其产业效应", 《资源科学》, 2021 年第 1 期, 第 12—22 页。
- [25] 周黎安, "晋升博弈中政府官员的激励与合作——兼论我国地方保护主义和重复建设问题长期存在的原因", 《经济研究》, 2004 年第 6 期, 第 33—40 页。

## The Environmental Spatial Spillover Effect of Wind Power Fixed Feed-in Tariff Policy

WAN Wei

(Central China Normal University)

ZUO Lvyin\*

(Renmin University of China)

**Abstract:** China's wind power fixed feed-in-tariff (FIT) policy has significantly raised the feed-in tariff level for wind power. Our analysis of the spatial characteristics and mechanism of its environmental improvements reveals that high-resource regions experience larger wind capacity growth but achieve smaller environmental improvements than adjacent low-resource regions. This arises from their limited local power absorption capacity, prompting high-resource regions to transmit more electricity to adjacent low-resource regions, thereby improving the latter's environment by displacing coal-fired power. It shows that the wind power FIT generates an environmental spatial spillover effect from high-resource regions to adjacent low-resource regions.

**Keywords:** fixed feed-in tariff; environment improvements; spatial characteristics

**JEL Classification:** F12, F20, F40

---

\* Corresponding Author: ZUO Lvyin, School of Agricultural Economics and Rural Development, Renmin University of China, No. 59 Zhongguancun Street, Haidian District, Beijing 100872, China; Tel:86-18827277350; E-mail: zly200109@ruc.edu.cn.